

ҶАМИНАТ

Анотація

В роботі запропоновано розробку технологічного процесу, який дозволяє покращити фізико-механічні властивості полімеркомпозитів, армованих скловолокном. Об'єкт дослідження – армовані полімеркомпозити. Предмет дослідження – фізико-механічні властивості та структура поліефірних полімеркомпозитів, армованих скловолокном.

У роботі проведено аналіз властивостей полімеркомпозитних матеріалів армованих скловолокном, встановлено перспективи їх застосування для отримання екологічно безпечних наповнених композитів. Досліджено структуру, фізичні та механічні властивості композитів, армованих скловолокном у вигляді скломати.

Експериментальні дослідження проведено у Католицькому університеті імені Яна Павла II (м. Люблін, Польща) за програмою подвійного дипломування.

Зміст

Вступ	3
1 Технічне обґрунтування	5
1.1 Будівельні композитні матеріали	5
1.2 Скловолоконні матеріали як наповнювачі	9
1.3 Полімерна матриця – поліефірна смола	12
1.4 Висновки та постановка задач дослідження	14
2 Методика експерименту	15
2.1 Методика отримання зразків	15
2.2 Термічна обробка	18
2.3 Методи дослідження властивостей та структури	19
3 Експериментальна частина	24
3.1 Фізико-механічні властивості зразків	24
3.2 Структурні особливості полімеркомпозитів	27
Загальні висновки та практичні рекомендації	29
Список використаних джерел	30
Додаток А	32
Додаток Б	35

Вступ

Серед нових матеріалів, що застосовуються, серед іншого, у будівництві, особливе місце займають композитні матеріали, які мають цілий комплекс різноманітних властивостей, раціональне поєднання яких дозволяє отримати оптимальні параметри кінцевого продукту. Технологічний прогрес викликає необхідність розробки нових композитних матеріалів. Впродовж останніх років було створено нові матеріали зі специфічними властивостями, розроблено технологію їх виготовлення та методи розрахунку, що дозволяють їх проектувати відповідно до припущених кінцевих властивостей виробу.

У будівництві та машинобудуванні знайшли застосування матеріали, армовані суцільними волокнами з високою міцністю і високим модулем, зокрема поліефірні скловолоконні композити.

В роботі запропоновано розробку технологічного процесу, який дозволяє покращити фізико-механічні властивості полімеркомпозитів, армованих скловолокном.

Об'єкт дослідження – армовані полімеркомпозити.

Предмет дослідження – фізико-механічні властивості та структура поліефірних полімеркомпозитів, армованих скловолокном.

Завдання дослідження: проаналізувати властивості і переваги застосування полімеркомпозитів; отримати композитні матеріали на основі скловолокна та поліефірної смоли; дослідити їх структуру та фізико-механічні властивості; встановити можливість досягнення покращення властивостей цих матеріалів після термічної обробки.

У роботі проведено аналіз властивостей полімеркомпозитних матеріалів армованих скловолокном, встановлено перспективи їх застосування для отримання екологічно безпечних наповнених композитів. Досліджено структуру, фізичні та механічні властивості композитів, армованих скловолокном у вигляді скломати.

1 Технічне обґрунтування

1.1 Будівельні композитні матеріали

Новітні композитні матеріали характеризуються сукупністю різноманітних властивостей, практичне поєднання яких дозволяє отримати оптимальні властивості кінцевого виробу. Протягом останнього десятиліття було створено безліч нових матеріалів зі специфічними властивостями, розроблено нові методи розрахунку та своєрідні технології виготовлення, що дозволяє удосконалити їх проектування (рис. 1.1).

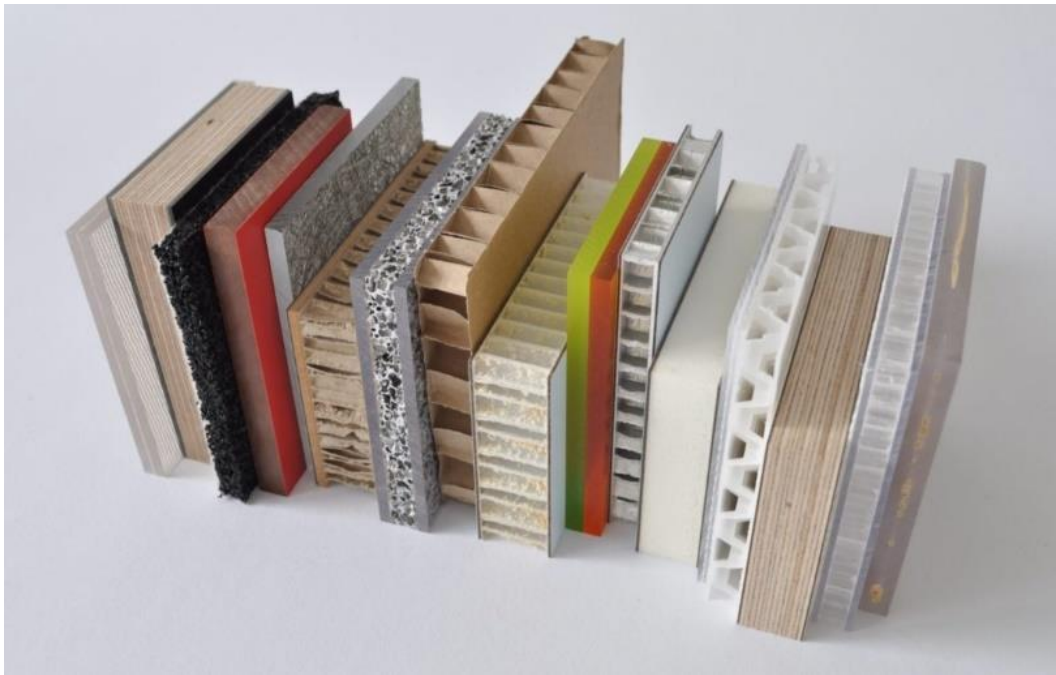


Рис. 1.1 – Композитні матеріали.

Композити - це гетерофазні матеріали, що складаються з полімеру, металу, вуглецю, кераміки чи іншої основи (матриці), армованої металевими частинками, металевими волокнами і шари, вуглецеві, борні, скляні, органічні, керамічні волокна тощо. Вибравши склад і властивості наповнювача та матриці, орієнтацію наповнювача, можна отримати матеріали з необхідним поєднанням експлуатаційних і технологічних властивостей [1].

Найпоширенішими недоліками композиційних матеріалів є [2]:

- висока вартість;
- анізотропія властивостей;
- потреба у спеціальному, дорогому обладнанні та сировині, а отже розвиненому промисловому виробництві та науковій базі країни.

Композитні матеріали зазвичай класифікуються за видом зміцнювального компоненту, який вони використовують, за видом основи, за формою зміцнювального компоненту та за схемою армування. Зміцнювальний компонент забезпечує міцність матеріалу, а матриця – пластичність.

Властивості композитних матеріалів залежать від складу, комбінації, співвідношення та міцності компонентів. Зміцнювальні компоненти можуть бути у вигляді волокон, тасьми, ниток, стрічок, багат шарових тканин. Чим вища міцність і жорсткість волокон, тим вища міцність і жорсткість композитного матеріалу. Способи армування композитів проілюстровано на рис. 1.2.

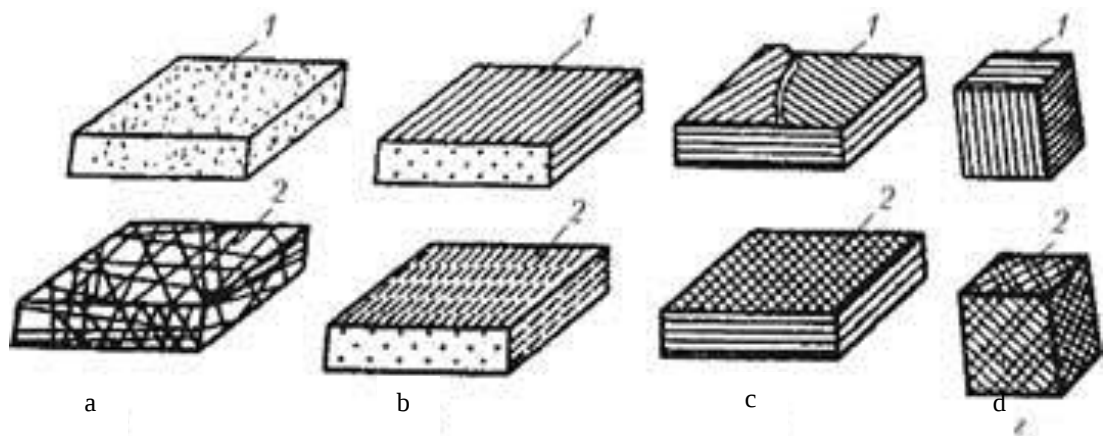


Рис. 1.2 – Види армування: а – хаотичне армування (1 – короткі волокна, 2 – довгі волокна); б – одновісне армування (1 – довгі волокна, 2 – короткі волокна); с – двовісне армування (1 – довгі волокна, 2 - тканини); д – тривісне армування (1 – три сімейства ниток, 2 - n сімейств ниток) [3].

У шаруватих матеріалах, волокнах, стрічках, просочених сполучною речовиною, розташованих паралельно один одному в площині укладання, вміст підсилювача в орієнтованих матеріалах зазвичай становить 60-80%, а в

неорієнтованих 20-40%. Волокно можна укласти під різними кутами, змінюючи властивості композиційних матеріалів.

Загальна класифікація видів композитних матеріалів [4]:

- структурні композити - в яких є суцільні конструкції структурних компонентів - шари, прутки або звичайні тривимірні конструкції;
- ламінати - які складаються з волокон, вбудованих у в'язучі речовини;
- мікрокомпозити та нанокомпозити - у яких регулярна структура двох або більше компонентів вже організована на надмолекулярному рівні;
- структурні сплави - це різновид металевих сплавів, метали з неметалами, полімери між собою та полімери з металами та неметали з дуже регулярною мікроструктурою.

За структурою наповнювача композитні матеріали поділяються на [2] волокнисті; шаруваті; дисперсно-зміцнені.

Матриця в композиційних матеріалах забезпечує твердість матеріалу, передачу та розподіл напруги в наповнювачі, визначає стійкість до тепла, вологості, вогнестійкості та хімічної стійкості [2]. За видом основи (матриці) композитні матеріали поділяються на металеві; неметалеві, полімерні; керамічні; вуглецеві.

Композити, в яких матрицею є полімерний матеріал, є найчисленнішими. Їх застосування в різних областях дає значний економічний ефект. Наприклад, використання ПКМ при виробництві космічної та авіаційної техніки дозволяє заощадити від 5 до 30% ваги літального апарату. А зниження ваги, наприклад, штучного супутника на навколосезонній орбіті на 1 кг призводить до економії 1000 \$. Як наповнювачі ПКМ використовується безліч різних речовин [2].

Варіюючи склад матриці і наповнювача, їх співвідношення, орієнтацію наповнювача, можна отримати широкий спектр матеріалів з необхідним набором властивостей. Багато композитів перевершують традиційні матеріали і сплави за своїми механічними властивостями і в той же час вони легші.

Використання композитів зазвичай дозволяє зменшити масу конструкції при збереженні або поліпшенні її механічних характеристик.

Застосування композитних матеріалів [5]:

- будівництво (конструкційні профілі, склепіння конструкцій виставкових залів і павільйонів, мостові несучі елементи, арматурні сталеві та бетонні конструкції, басейни, резервуари, арматурні прутки тощо);
- суднобудування (яхти, корпуси човнів, моторні човни, корабельні двері та холодильна техніка, поплавці, понтони, торпедні труби, захисні чохли, антени, радіолокаційні кришки тощо);
- авіація (елементи пасажирських рамок, розсувні конструкції тощо);
- залізнична та автомобільна промисловість (корпуси вагонів і локомотивів, кузови вагонів, цистерни для води, умивальники, підводні вагони, кузовні роботи, кабіни вантажних автомобілів, дахи та автобусні передні частини, корпуси скутерів і вантажних автомобілів, каравани тощо);
- хімічна, нафтохімічна та харчова промисловість (трубопроводи, цистерни, гальванічні цистерни, витяжки, димоходи, корпуси насосів і вентиляторів, змішувачі тощо);
- електротехнічна та машинобудівна промисловість (корпуси приладів та електродвигунів, кришки, а також кожухи розподільних пристроїв і газових коробок, корпуси верстатів, вентилятори, кришки тощо);
- спортивний інвентар (луки, жердини для стрибків у висоту, лижі, тенісні ракетки, вудки, щогли тощо);
- елементи малої архітектури (вазонники для квітів, скульптури, штучне каміння тощо).

Перевагами використання композиційних матеріалів у будівництві є [6] висока питома міцність; висока жорсткість; висока зносостійкість.

Матеріали, армовані суцільними волокнами з високою міцністю і високим модулем, найбільш широко застосовуються в будівництві та машинобудуванні. До них відносяться полімерні композитні матеріали на

основі термореактивних та термопластичних в'язучих, армовані склом, вуглецем, органічними сполуками, бором та ін. волокна; металеві композитні матеріали на основі сплавів Al, Mg, Cu, Ti, Ni, Cr, армовані кремнієвим борним, вуглецевим або карбідним волокнами, а також сталевим, молібденовим або вольфрамовим дротом; композити, посилені вуглецевим волокном; композитні матеріали на основі кераміки, армованої вуглецем, карбід кремнію і ін. жароміцні волокна та SiC. Використання вуглецевих, скляних, амідних та борних волокон, що містяться в матеріалі в кількості 50-70%, дозволяє створити композицію із питомою міцністю та модулем у 2–5 разів більше, ніж у звичайних будівельних матеріалах та сплавах. Крім того, ці матеріали перевершують їх за термостійкістю, вібростійкістю, шумопоглинанням, міцністю тощо [2].

Нанесення металевої матриці на наповнювач в основному відбувається із сплаву матричного матеріалу за допомогою електрохімічного осадження або напилення. Вироби утворюються шляхом просочення каркаса армуючих волокон за допомогою металевого сплаву при тиску до 10 МПа або комбінування плівки з армуючими волокнами шляхом прокатки, пресування, екструдювання після нагрівання до температури плавлення матричного матеріалу [2].

Одним із загальних способів отримання полімерних та металевих волокнистих і шаруватих композиційних матеріалів є вирощування наповнюючих кристалів у матриці безпосередньо в процесі виготовлення деталей, наприклад, під час формування жароміцних сплавів. Карбідні та інтерметалічні сплави призводять до зміцнення сплавів та підвищення їх робочої температури на 600-800 ° С. Матеріали на основі вуглецю поєднують низьку щільність з високою теплопровідністю, хімічною стійкістю, стабільністю розмірів при різких температурних коливаннях та збільшенням міцності та модулю після нагрівання до 2000 ° С в інертному середовищі. Високоміцні матеріали на основі кераміки отримують шляхом армування

волокнистими наповнювачами, а також металевими та дисперсними частинками. Постійне зміцнення волокон SiC забезпечує матеріали з високою міцністю на вигин і високою стійкістю до окислення при високих температурах.

Однак армування волокнами не завжди призводить до значного підвищення його міцних властивостей через відсутність еластичності матеріалу при високих значеннях його модуля пружності. Посилення дисперсними частинками металу дозволяє створювати керамічно-металеві матеріали з високою міцністю, теплопровідністю, стійкістю до теплового удару. Зміцнення матеріалів дисперсними металевими частинками викликає різке збільшення міцності через створення бар'єрів для теплових рухів. Ця арматура використовується для створення жароміцних хромонікелевих сплавів. Матеріали отримують шляхом введення дрібних частинок у розплавлений метал з подальшою обробкою звичайних злитків у продукти [2].

1.2 Скловолоконні матеріали як наповнювачі

Усе скловолокно можна умовно розділити на два великі класи: дешеві волокна загального призначення та дорогі волокна спеціального призначення. Майже 90% усього скловолокна, що виробляється в світі, є скловолокном класу Е. Решта 10% - це волокна спеціального призначення. Тканини та скломати для промисловості виготовляються найчастіше зі скловолокна типу Е. Більшість марок скловолокна мають свої назви завдяки їхнім особливим властивостям [7]:

- Е (electrical) - низька електропровідність;
- S (strength) - висока міцність;
- C (chemical) - висока хімічна стійкість;
- M (modulus) - висока гнучкість;
- A (alkali) - високий вміст лужних металів, газованого скла;
- D (dielectric) - низька діелектрична стала;

- AR (alkali resistant) - висока стійкість до лугів.

Скловолокно типу M, яке у своєму складі містить берилій використовується тоді, коли необхідно забезпечити високу гнучкість конструкції.

Скловолокна типу AR спеціально розроблені для бетонних конструкцій, вони ефективно запобігають розтріскуванню бетону. Ці скловолокна містять лужні силікати цирконію, це збільшує міцність і гнучкість бетону. Вони також використовуються при зміні азбесту. Розчинити у воді їх дуже важко, зміни рН на них не впливають. Їх легко можна додавати в суміші з нержавіючої сталі та бетону. Також поширеними є волокна з додаванням магнію та кальцію, вони ідеально підходять для застосування з підвищеною кислотністю і механічною міцністю [8].

Важливим типом скловолокна є волокно типу D, яке у своєму складі містить бор. Бор інтенсивно містить сполуку триоксиду. Триоксид бору використовується як вихідний матеріал для синтезу інших сполук бору, таких як карбід бору, для виробництва скляних і емальованих рідин, а також для виробництва термостійких та стійких до різких перепадів температур боросилікатних склянок. Крім того, одним із найважливіших застосувань триоксиду бору є його використання в якості добавки для склопластику при формуванні волокна для використання в оптичній кабельній конструкції. Триоксид бору забезпечує низьку діелектричну константу для цього типу скловолокна. Це робить скловолокно ідеальним волокном для використання оптичних кабелів, таких як термостійкість та електропровідність в електромагнітних програмах [8].

Скловолокно типу C - це тип скловолокна, що містить боросилікат кальцію, який забезпечує структурну рівновагу в агресивних середовищах. Значення рН контактуючих хімічних речовин забезпечує високу стійкість до скловолокна, як лужного, так і кислого [8].

Скловолокно типу А, або натрієво-вапняне скло, може бути леговане бором або незабрудненим. Сполуки оксиду лугу, присутні в складі скловолокна типу А, становлять не менше 0,8%. Скловолокно Е-типу було розроблено для використання в електричних приладах, але воно також використовується в багатьох інших областях. Це призвело до виробництва склопластику в поєднанні з термореактивними смолами. Листи та панелі, виготовлені з пластику, армованого склом, досить широко використовуються майже у всіх промислових районах. Воно захищає цілісність конструкції від будь-яких механічних впливів [8].

Тип S - це найвищий рівень серед наявних волокон. Вони виготовляються з більш високим вмістом кремнезему, ніж у стандартних виробів зі склопластику. Скляні волокна типу S для текстильної та композитної промисловості пропонують найвищі фізичні властивості, такі як висока міцність і міцність на стиск, стійкість до високої температури та покращена стійкість до ударів [8].

Для електроізоляції використовується тільки лужне (або слабколужне) алюмосилікатне скловолокно. Для структурованого скловолокна зазвичай використовують силікат лужного алюмінію або алюмосилікатне скловолокно. Скловолокно, що містить луг, також може використовуватися для скловолокна, що не реагує [9].

Механічні властивості скловолокна безпосередньо залежать від способу виробництва, хімічного складу скла, температури та навколишнього середовища. Найбільшу міцність мають суцільні скловолокна, що не містять у своєму складі лугу і кварцо-магніє-алюмосилікату. Підвищений вміст лугу у вихідному склі значно знижує міцність скляних волокон [9].

Технологічний процес отримання волокон полягає на поєднанні кварцового піску, вапняку, борної кислоти, глини, вугілля, фториту та інших компонентів, їх змішування та плавлення у високотемпературних печах (температура плавлення близько 1260 ° C) [10].

Вироби зі склопластику найчастіше застосовуються в будівельних, ремонтних та декоративних роботах. Цей матеріал також використовується при дорожніх роботах. Склопластик широко застосовується в автомобілебудуванні та суднобудуванні, у виробництві товарів, домашніх господарств, спорту та медицини. Завдяки високим діелектричним властивостям, скловолокно вже давно використовується в енергетиці як ізоляційні матеріали [11].

1.3 Полімерна матриця – поліефірна смола

Поліефірні смоли - це ненасичені синтетичні смоли, що виникають в результаті реакції двоосновних органічних кислот і багатоатомних спиртів [12].

Поліефірні смоли використовуються в листових формувальних сумішах, масоутворюючих масах і в лазерних принтерах. Настінні панелі з поліефірних смол, посилені скловолокном, зазвичай застосовуються в ресторанах, кухнях, туалетах та інших місцях, де потрібні невимогливі стіни, які можна мити. Вони також широко використовуються в місцях застосування гартованих труб. Міністерство транспорту США також використовує їх як дорожні та мостові накладки (накладки з поліефірного бетону). Поліефіри також використовуються в клеєвих анкерних болтах, хоча також використовуються матеріали на основі епоксидної смоли. Більшість поліефірних смол - це в'язкі рідини яскравих кольорів, що складаються з розчину поліестеру в мономері, який зазвичай є стиролом [13]. Зараз багато компаній впроваджують системи без стиролу, в основному через проблеми із запахом.

Ненасичені поліефіри - це конденсаційні полімери, що утворюються в результаті реакції поліолів (також відомих як багатоатомні спирти), органічних сполук з багатьма алкогольними або гідроксильними функціональними групами, з насиченими або ненасиченими двоосновними кислотами. Типовими використовуваними поліолами є такі гліколи, як етиленгліколь; використовувані кислоти - це фталева кислота, ізофталова та малеїнова

кислоти. Використання ненасичених полієфірів та добавок, таких як стирол, зменшує в'язкість смоли [13].

Спочатку рідку смолу перетворюють у тверду речовину ланцюговим зшиванням. Це робиться шляхом створення вільних радикалів у ненасичених зв'язках, які виникають у ланцюговій реакції з іншими ненасиченими зв'язками в сусідніх молекулах, приєднуючись до них у процесі. Початкові вільні радикали індуються додаванням сполуки, яка легко розпадається на вільні радикали. Ця сполука зазвичай і неправильно відома як каталізатор. Ініціатор - більш правильний термін. Солі кобальту зазвичай використовують як справжній каталізатор. Використовувані речовини, як правило, органічні пероксиди, такі як пероксид бензоїлу або пероксид метил етилкетону [12].

Полієфірні смоли є термореактивними і, як і інші смоли, тверднуть екзотермічно. Таким чином, використання надлишкового ініціатора, особливо з поточним каталізатором, може викликати обвуглювання та рівномірне займання в процесі затвердіння. Надмірний каталізатор також може спричинити розтріскування продукту або утворення гумового матеріалу [14].

Полієфірна смола має такі переваги [13]:

- висока стійкість до води та різних хімічних речовин;
- висока стійкість до погодних умов та старіння;
- низька ціна;
- полієфіри добре змочують скловолокна;
- відносно низька усадка (приблизно 4–8%) під час затвердіння.

Полієфірна смола має такі недоліки [13]:

- сильний запах стирену;
- важче змішувати, ніж інші смоли;
- токсичність випарів;
- не підходить для склеювання багатьох підкладок;
- тверднення повільніше, ніж для рівної кількості епоксидної смоли.

1.4 Висновки та постановка задач дослідження

Полімеркомпозити, армовані скловолокном, є екологічно безпечними та широко розповсюдженими у будівельній промисловості. На основі проведеного аналізу літературних джерел встановлено переваги поліефірної смоли як полімерної матриці композитних матеріалів. Методи виготовлення полімеркомпозитів на основі поліефірної смоли є простішими та менш складними відносно методів виготовлення інших композитів, тож виготовлення полімеркомпозитів є дешевшим. Поліефірна смола використовується у виробництві склопластикових профілів.

Визначено об'єкт дослідження – полімеркомпозити на основі поліефірної смоли та скловолокон. Предмет дослідження – фізико-механічні властивості та структура полімеркомпозитів.

Поставлено наступні завдання дослідження:

- проаналізувати властивості і переваги застосування поліефірної смоли;
- отримати композитні матеріали на основі скловолокон та поліефірної смоли;
- дослідити їх структуру та фізико-механічні властивості;
- встановити можливість покращення фізико-механічних властивостей таких матеріалів.

2 Методика експерименту

2.1 Методика отримання зразків

Для виготовлення основи композитного матеріалу використовували поліефірна смола. Вибір цього матеріалу визначався відносною легкістю проектування деталей, низькою вартістю та практичним досвідом.



Рис. 2.1 – Поліефірна смола Crystic 1375 PA.

Crystic 1375 PA – це прискорена, наповнена вогнестійка поліефірна смола для контактного лиття (рис. 2.1). Смола Crystic 1375 PA була розроблена в якості дешевого, швидкого проникаючого армуючого матеріалу. Випускається в обмеженій гамі кольорів.

Перед використанням Crystic 1375 PA повинна досягти робочої температури 18...20°C. Смолу необхідно добре перемішати вручну або міксером з низькою швидкістю, щоб уникнути насичення повітрям. Потім смолу слід відкласти для відновлення тиксотропії. Щоб почати процес тверднення, необхідно додати каталізатор. До смоли додавали каталізатор M або Butanox M50 в кількості 1%. Каталізатор слід ретельно перемішати зі смолою, використовуючи механічну мішалку з низькою швидкістю.

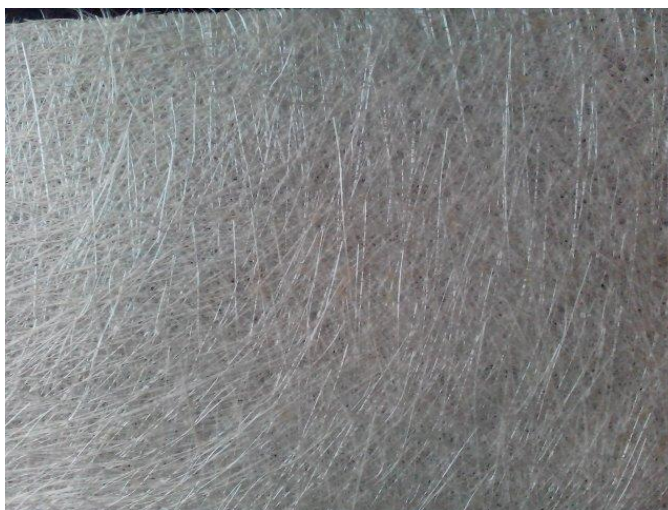


Рис. 2.2 – Емульсійна скломата.

Для наповнення композиту використано емульсійну скломату (рис. 2.2). Це різновид армуючого матеріалу, що складається з рубленого ровінгу, склеєного емульсією або порошковим замаслювачем. Склوماتа виготовляється в закритих і контактних технологіях формування скловолокна з використанням різних видів ненасиченої поліефірної смоли. Існує кілька типів скломат, що відрізняються щільністю поверхні, які широко застосовуються в різних сферах застосування, включаючи автомобілебудування, суднобудування, будівництво тощо. Популярність виробу пояснюється тим, що скломата добре просочується поліефірною смолою, забезпечуючи хороші фізичні та механічні властивості.

В даний час у промисловості існує два основні типи скломати: порошкові та емульсійні. Склوماتи емульсійні виготовляють з нарізаного скловолокна (довжиною 50 мм), склеєного за допомогою емульсійного мастила. Діаметр волокна - 9 мкм. Волокно виготовляється із скла типу Е, що містить менше 1% лугу. Ці скломатеріали мають меншу лінійну та поверхневу масу, тому дуже легкі та добре вписуються у форму. Вони характеризуються хорошим просоченням ненасиченою поліефірною смолою та хорошою здатністю видаляти повітря в процесі ламінування. Крім того, ламінат з емульсійної скломати має високу стійкість до різного роду погодних умов та чудові механічні властивості.

Зразки для досліджень квадратної форми розміром 2×2 см (рис. 2.3) виготовлені ручним (контактним) методом. Цей спосіб використовується в основному для виготовлення ламінатів. Він передбачає укладання тканини або мати у форму у якості армуючого елемента та насичення сумішшю смоли та затверджувача пензлем та ущільнення гумовим валиком. Після повного насичення одного шару армування сумішшю смоли та затверджувача можна нанести ще один додатковий шар так само, як попередній шар.

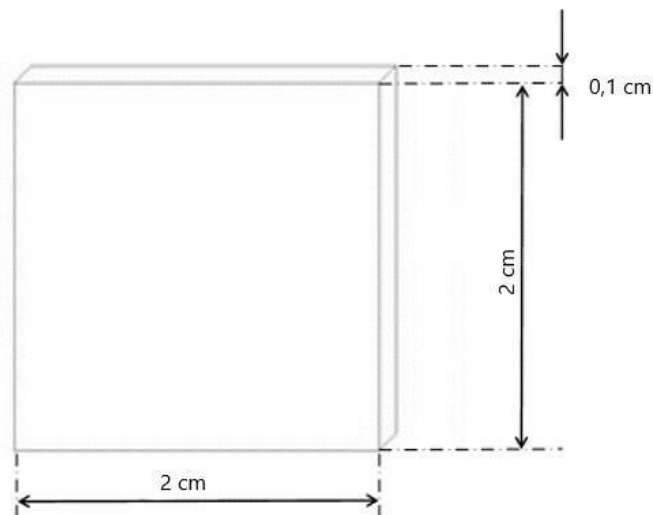


Рис. 2.3 – Схема зразка.

Цей метод використовується для виготовлення окремих виробів простими формами. Його перевага полягає в тому, що він не потребує складних форм та інструментів. Одним з недоліків цього методу є висока трудомісткість.

Потім зразки слід зберігати при 80°C протягом 3 годин і давати їм повністю затвердіти при температурі близько 200°C шляхом їх нагрівання або залишити для повного затвердіння при температурі 20°C без нагрівання. Обидва методи були використані в даній роботі.

Під впливом температури поліефірна смола змінює колір з синього на жовтий або коричневий, залежно від температури сушіння зразків (чим вище температура, тим темніший колір), це відбувається внаслідок процесу окиснення смоли.

2.2 Термічна обробка

Термічну обробку проводили з метою порівняти механічні та фізичні властивості зразків. Термічну обробку випробуваних зразків проводили за допомогою плавкої печі Nabertherm GF 240 (рис. 2.4). Термічна обробка підготовлених зразків проводилася за двома різними термічними схемами.



Рис. 2.4 – Плавильна піч GF 240 фірми Nabertherm.

Процес термічної обробки зразків у першому випадку відбувався за наступною схемою:

1. Нагрівання до 200°C впродовж 15 хвилин;
2. Витримування при цій температурі впродовж 10 хвилин;
3. Повільне охолодження на повітрі.

Процес термічної обробки зразків у другому випадку відбувався за наступною схемою:

1. Нагрівання до 300°C впродовж 15 хвилин;
2. Витримування при цій температурі впродовж 10 хвилин;
3. Повільне охолодження на повітрі.

Уже після трьох хвилин витримування зразків при температурі 300°C був відчутний гострий запах поліефірної смоли, що вказувало на те, що зразки були спалені.

2.3. Методи дослідження властивостей та структури

Дослідження структури поверхні.

Перед проведенням випробувань на твердість, змочуваність та шорсткість поверхні, а також перед термічною обробкою було проведено макроскопічне та мікроскопічне дослідження для характеристики поверхні для кожного зразка. Для спостереження за макроструктурою зразків використовували мікроскоп Leica DMS 300 (рис. 2.5). Для дослідження структури поверхні використовували збільшення: $\times 0.75$, $\times 2.5$, $\times 6$.



Рис. 2.5 – Мікроскоп Leica DMS 300.

Дослідження твердості

Твердість – головний параметр, що визначає міцність у промислових випробуваннях. З одного боку, це пов'язано зі швидкістю та простотою

вимірювання, з іншого – можливістю визначати значення твердості безпосередньо на випробувальному пристрої неруйнівним способом.

Вимірювання твердості методом Віккерса проводилося за допомогою твердоміра фірми Sunpos при навантаженні 4.903N (рис. 2.6). Індентором була алмазна піраміда. Вимірювання твердості методом Віккерса передбачає втискання алмазної пірамідки у поверхню зразка. Твердість обчислюється як відношення сили, прикладеної до піраміди до площі відбитка (а область відбитка розглядається як площа поверхні піраміди, а не як площа квадрата). Похибка пристрою $\pm 1\%$.



Рис. 2.6 – Твердомір фірми Sunpos.

Дослідження кута змочування

Змочуваність твердої поверхні під час зіткнення трьох фаз (тверде тіло, рідка, газ) характеризується величиною кута змочування краю, що представляє собою кут, утворений поверхнею поділу двох фаз з поверхнею третьої фази. Кутовий контакт θ вимірюється у бік рідкої фази (рис. 2.7). Коли значення кута

менше ніж 90° матеріал є гідрофільним, якщо ж значення кута контакту дорівнює або ж більше 90° , матеріал є гідрофобним.

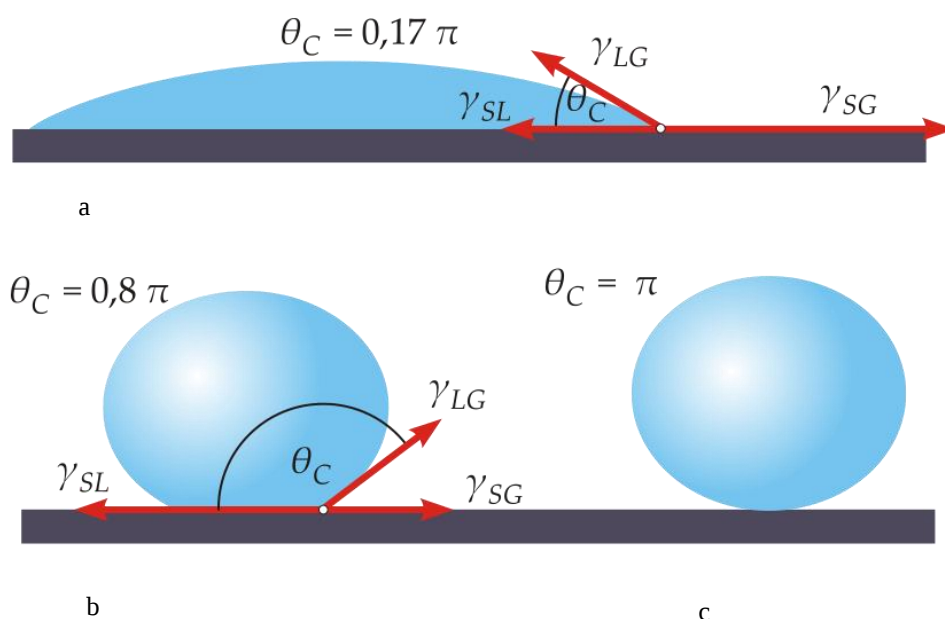


Рис. 2.7 – Графічне зображення кута змочування, відповідно: а) добре змочування; б) слабе змочування; с) відсутність змочування. Θ – кут змочування, γ -поверхневий натяг на межі фаз, S – тверде тіло, L – рідина, G – газ або інша рідина.



Рис. 2.8 – Гоніометр PGX+.

Вимірювання кута змочування проводилося методом Таррі Т458 за допомогою гоніометра PGX+(рис. 2.8), який оснащений камерою, що записує

зображення рідини, яка змочує досліджувану поверхню. Програмне забезпечення, що додається до пристрою, визначає кути контактів на основі зроблених знімків. Похибка пристрою $\pm 1^\circ$.

Дослідження шорсткості поверхні.

Шорсткість поверхні визначає тривалість нормальної роботи з'єднаних деталей. Наявність мікронерівностей викликає концентрацію напруги в заглибленнях, сприяє утворенню тріщин і знижує міцність, довговічність і стабільність заготовки. У заглибленнях нерівностей виникають корозійні центри, тому чим більша шорсткість поверхні, тим більше вона сприйнятлива до корозії. Шорсткість поверхні є характеристикою нерівностей поверхні твердого тіла, виражене у вигляді числового значення, що вказує на ступінь відхилення базової довжини теоретично гладкій поверхні з геометричною формою.

Механічна (контактна) профілометрія – один із методів контактних вимірювань, що застосовуються для вимірювання рельєфу поверхні. Результатом випробування є профілограма, яка дозволяє визначити основні параметри шорсткості поверхні зразків.

Це дозволило візуалізувати та характеризувати поверхню зразків шляхом визначення таких параметрів, як:

- середнє арифметичне відхилення профілю шорсткості R_a ;
- середнє квадратичне відхилення профілю шорсткості R_q .

Вимірювання шорсткості поверхні досліджуваного матеріалу проводили за допомогою контактного профілометра DektakXT фірми Bruker. Шорсткість поверхні тестували механічним (контактним) методом за допомогою алмазного стилуса.

3 Експериментальна частина

3.1 Фізико-механічні властивості зразків

Вимірювання твердості методом Віккерса (HV 0,5) проводили за допомогою твердоміра фірми Supros із навантаженням 4,903 N. Усереднені за результатами трьох вимірювань значення твердості представлені в таблиці 3.1 та графічно на рисунках 3.1 та 3.2

Таб. 3.1. – Результати вимірювання твердості HV 0,5

Зразок	Опис зразків	Твердість у початковому стані, HV	Твердість після першої термічної обробки (200°C), HV
1	Зразки, сушені при температурі 80°C	1829,0±18,290	2019,9±20,199
2		1520,7±15,207	1913,6±19,136
3		1752,6±17,526	1958,0±19,580
4		1528,3±15,283	1764,9±17,649
5		1872,0±18,720	2088,7±20,887
6	Зразки, сушені при температурі 20°C	1412,0±14,120	1781,3±17,813
7		1512,2±15,122	1748,8±17,488
8		1433,6±14,336	1794,8±17,948
9		1503,3±15,033	1822,3±18,223
10		1513,6±15,136	1759,3±17,593

Твердість зразків 1-5, які спочатку сушили при 80°C протягом трьох годин, у початковому стані перевищує твердість зразків 6-10, які сушили лише при 20°C. Середнє значення твердості для зразків, висушених при 80°C, становить 1700,52 HV. Середнє значення твердості для зразків, висушених при 20°C, становить 1474,94 HV. Різниця між результатами зразків 1-5 та 6-10 становить в середньому 15,3%. Твердість усіх зразків після першої термічної обробки (200°C) зросла в середньому на 18% (див. табл. 3.1).

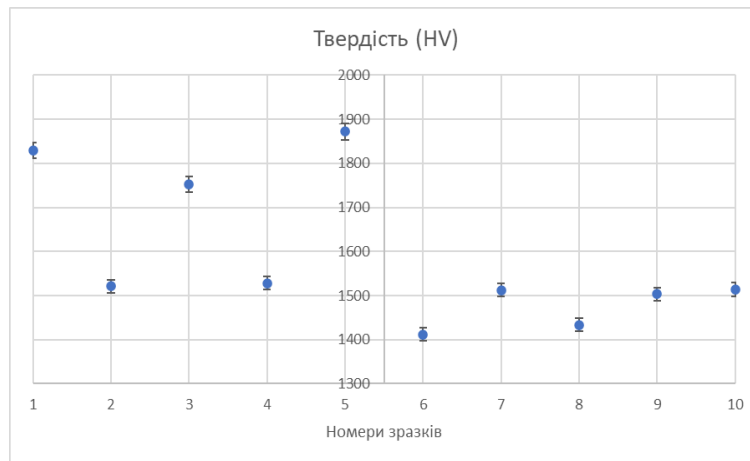


Рис. 3.1 – Твердість зразків у початковому стані. Зразки 1-5 сушені при температурі 80°C, зразки 6-10 сушені при температурі 20°C.

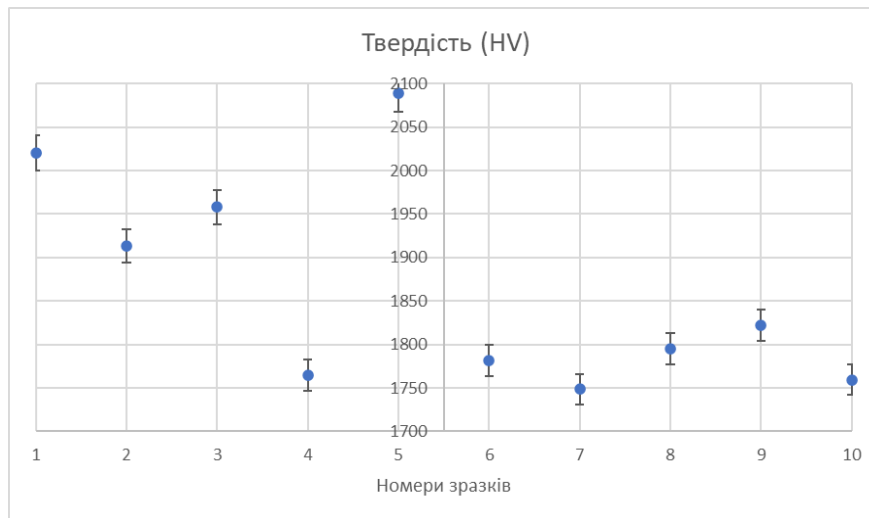


Рис. 3.2 – Твердість зразків після першої термічної обробки (200°C). Зразки 1-5 сушені при температурі 80°C, зразки 6-10 сушені при температурі 20°C.

Для визначення гідрофільності зразків та зміни кута змочування у залежності від впливу температури було проведено контактне кутове дослідження. Вимірювання кута змочування проводилося методом Таррі Т458 за допомогою гоніометра PGX+ (рис. 3.3). Результати вимірювання кута змочування, наведені в таблиці 3.2.



Рис. 3.3— Зображення краплі дистильованої води, що осідає на поверхні композиту.

Таб. 3.2– Результати вимірювання кута змочування поверхні зразка

Зразок	Опис зразків	Кут в початковому стані	Кут після термічної обробки (200°C)
1	Зразки, сушені при температурі 80°C	59,6±1°	75,8±1°
2		50,1±1°	61,0±1°
3		48,3±1°	53,6±1°
4		46,2±1°	57,8±1°
5		53,9±1°	66,9±1°
6	Зразки, сушені при температурі 20°C	43,3±1°	56,8±1°
7		53,9±1°	68,2±1°
8		67,5±1°	76,7±1°
9		43,7±1°	59,8±1°
10		51,3±1°	65,6±1°

Як видно з таблиці 3.2, результати вимірювання кута змочування поверхні у початковому стані зразків 1-5, які спочатку сушили при 80°C протягом трьох годин, знаходяться в тому ж діапазоні, що і результати вимірювання кута змочування поверхні зразків 6-10, які сушили лише при 20°C. Середнє значення кута змочування для зразків, висушених при 80°C, становить 51,62°. Середнє значення кута змочування для зразків, висушених при 20°C, становить 51,94°. Різниця між результатами зразків 6-10 та 1-5 становить в середньому 0,62%.

Кут змочування всіх зразків, після термічної обробки (200°C), збільшився в середньому на 24,5% (див. табл. 3.2). Кут змочування зразків 1-5, які спочатку сушили при 80°C протягом трьох годин, в середньому збільшився на 21,8%, а кут змочування зразків 6-10, які сушили лише при 20°C, в середньому збільшився на 27,2 %. Це тому, що поліефірна смола є гідрофільним матеріалом. Ще одна причина цього явища – зменшення шорсткості поверхні при термічній обробці до температури 200°C.

Результати вимірювання шорсткості поверхні наведено у табл. 3.3. Різниця між результатами зразків 6-10 та 1-5 у вихідному стані становить в

Різниця між результатами зразків 6-10 та 1-5 у вихідному стані становить в середньому 28,1%. Різниця між результатами зразків 6-10 та 1-5 після першої термічної обробки (200°C) становить в середньому 6,8%. Різниця між результатами зразків 1-5 та 6-10 після другої термічної обробки (300°C) становить в середньому 13,5%.

Таб. 3.3 – Результати вимірювання середньої шорсткості поверхні (Total_Pa).

Зразок	Опис зразків	Початковий стан, μm	Стан після першої термічної обробки (200°C), μm	Стан після другої термічної обробки (300°C), μm
1	Зразки, сушені при температурі 80°C	1,57	2,79	7,88
2		2,61	2,72	6,95
3		2,60	2,69	8,05
4		3,25	2,61	6,75
5		2,73	2,65	14,59
6	Зразки, сушені при температурі 20°C	3,58	2,87	8,1
7		3,73	2,94	8,04
8		3,07	2,81	5,15
9		3,88	2,96	8,98
10		3,49	2,86	8,70

3.2 Структурні особливості полімеркомпозитів

Спостереження проводили на поверхні зразків з метою дослідження зміни поверхні після впливу температури. Репрезентативні результати тестування мікроструктури матеріалу мікроскопом Leica DMS300 при збільшеннях $\times 2,5$ та $\times 6$ до та після термічної обробки для різних станів представлено в додатках А та Б.

Як видно з додатка А, колір смоли залежить від способу сушіння зразків.

Під впливом температури поліефірна смола змінює колір з синього на жовтий або коричневий, залежно від температури (чим вища температура, тим темніший колір), відбувається це за рахунок процесу окислення смоли. Після другої термічної обробки зразки змінюють свій колір на чорний, це пов'язано з процесами розкладання смоли. Це можна побачити при збільшеннях $\times 2,5$ та $\times 6$.

Під впливом температури поліефірна смола змінює колір з синього на жовтий або коричневий, залежно від температури (чим вища температура, тим темніший колір), відбувається це за рахунок процесу окислення смоли. Після другої термічної обробки зразки змінюють свій колір на чорний, це пов'язано з процесами розкладання смоли. Це можна побачити при збільшеннях $\times 2,5$ та $\times 6$.

Проаналізувавши фотографії макроструктури поверхні зразків, можна побачити розташування скловолокон в скломаті, різні включення (бульбашки повітря, невеликі шматочки різних волокон), які могли потрапити в матеріал зразка під час виготовлення зразків або продукції скломати.

Візуальна різниця в діаметрі волокон зразків у початковому стані після першої термічної обробки (200°C) та після другої термічної обробки (300°C) пов'язана з плавленням та спалюванням смоли. Хоча діаметр волокон однаковий у всіх зразків і дорівнює 9 мкм.

Загальні висновки та практичні рекомендації

Перспективи полімеркомпозитів армованих скловолокном характеризуються дешевизною матеріалу та відносною легкістю виготовлення композиту. Властивості композитних матеріалів залежать передусім від вихідних складників: гатунку волокон та полімерної основи.

На основі проведених випробувань можна констатувати, що: механічні властивості випробуваного матеріалу залежать від технологічного процесу виготовлення, а конкретно – від способу сушіння і можуть бути модифіковані термічною обробкою.

Термообробка при 200°C позитивно впливає на параметри поверхні досліджуваних полімеркомпозитів, армованих скловолокном. Встановлено покращення гідрофобності, зменшення шорсткості поверхні та підвищення твердості поверхні. Твердість усіх зразків після першої термічної обробки (200°C) зросла в середньому на 18%, кут змочування збільшився в середньому на 24,5%.

Середнє значення шорсткості для зразків, висушених при 80°C в початковому стані, становить 2,55, після першої термічної обробки (200°C) становить 2,69, після другої термічної обробки (300°C) становить 8,84. Після другої термічної обробки зразки змінюють свій колір на чорний, це пов'язано з процесами розкладання смоли, тому рекомендовано проводити лише одну обробку при 200°C .

У результаті проведених досліджень встановлено, що найкращі властивості мають зразки, сушені при 80°C , та термічно структуровані при 200°C . Ці зразки мають більш високу твердість та меншу шорсткість, що позитивно впливає на їх використання у будівельній промисловості.

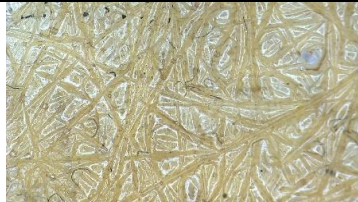
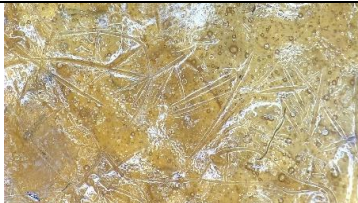
Список використаних джерел

- 1 Ashby M. Inżynieria materiałowa / M. Ashby. – Łódź: Wydawnictwo Galaktyka, 2011.
- 2 Boczkowska A. Kompozyty i techniki ich wytwarzania / A. Boczkowska. – Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2016.
- 3 Волокнисті композити [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://stud.com.ua/73782/tehnika/voloknisti_kompoziti.
- 4 Композити [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Композити>.
- 5 Baltazar Kompozyty [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.baltazarkompozyty.pl/index.php>.
- 6 Ashby M. Materiały inżynierskie. Właściwości i zastosowania, друге видання / M. Ashby. – Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1995.
- 7 Włókna szklane i ich rodzaje [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://holtex.pl/menu/blog/wlokna-szklane-i-ich-rodzaje/>.
- 8 Fiberglass Types [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://polser.com/en/frp/fiberglass-types>.
- 9 Włókno szklane [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://pl.wikipedia.org/wiki/Włókno_szklane.
- 10 Ashby M. Włókna techniczne wzmacniające materiały kompozytowe / M. Ashby, M. Landwijt // Techniczne Wyroby Włókiennicze / M. Ashby, M. Landwijt. – Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2010.
- 11 Charakterystyka tkanin z włókna szklanego [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.pkt.pl/artukul/charakterystyka- tkanin-z-wlokna-szklanego-10168>.

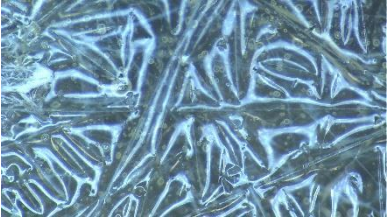
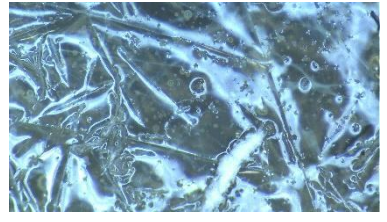
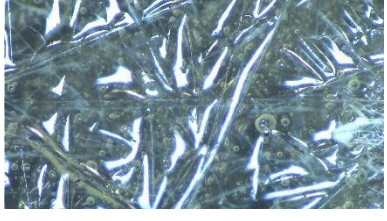
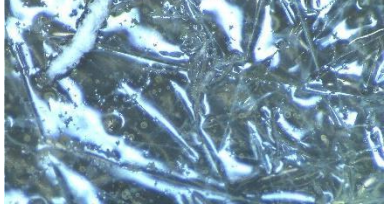
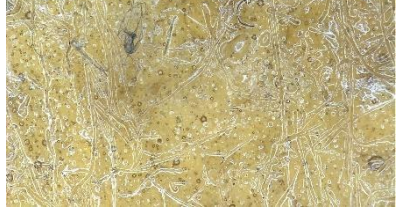
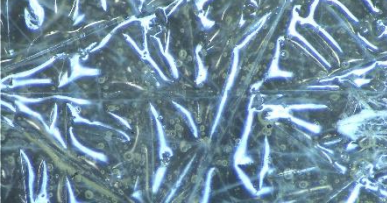
- 12 Żywica poliestrowa [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://pl.wikipedia.org/wiki/Żywica_poliestrowa.
- 13 O żywicach [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://janasc.com/zastosowanie_poliestrowa.html.
- 14 Żywica Poliestrowa – Charakterystyka | Zastosowanie [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://kubalakiery.pl/blog/zywica-poliestrowa-historia-charakterystykazastosowanie>.
- 15 Żebrowski W. Tworzywa sztuczne / W. Żebrowski – Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1978.
- 16 Pielichowski J. Technologia tworzyw sztucznych / J. Pielichowski, A. Puszczynski – Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2003.
- 17 Penczek P. Chemia polimerów / P. Penczek // Nienasycone żywice poliestrowe / P. Penczek. – Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2002.
- 18 Saechtling H. Tworzywa sztuczne / H. Saechtling, W. Żebrowski – Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1978.
- 19 Dobrzański L. A. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo / L. A. Dobrzański. – Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2006.
- 20 Materiały kompozytowe-kompozyty [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.archidemat.com/materialy-kompozytowe-kompozyty/>.
- 21 WŁÓKNO SZKLANE I JEGO WŁAŚCIWOŚCI [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.egsystem-sklep.pl/wlokno-szklane-i-jego-wlasciwosci-n-5.html>.
- 22 Żywice poliestrowe [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.lerg.pl/produkty/zywice_poliestrowe.
- 23 włokno szklane. wlasciwosci i zastosowanie [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.castorama.pl/wlokno-szklane-wlasciwosci-i-zastosowanie-ins1088998.html>.

- 24 Kompozyty polimerowe: Branża z przyszłością [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.chemiaibiznes.com.pl/artykuly/pokaz/143.html>.
- 25 DMS300 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://labsoft.pl/produkt/dms300>.
- 26 Скломати емульсійні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.polyester.com.ua/uk/catalog/product/30>.
- 27 Skale twardości - metody badania twardości materiałów [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.pnc.pl/poradnik/skale-twardosci.html>.
- 28 Твердість [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Твердість>.
- 29 Кут змочування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Кут_змочування.
- 30 Шорсткість поверхні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Шорсткість_поверхні.
- 31 Broniewski T. Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych / T. Broniewski, K. Kapko, W. Płaczek, J. Thomalla – Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2000.
- 32 Golański G. Metody badania właściwości materiałów / G. Golański, A. Dudek, Z. Bałaga – Częstochow: Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2011.
- 33 Królikowski W. Polimerowe kompozyty konstrukcyjne / W. Królikowski – Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2012.
- 34 Blicharski M. Inżynieria materiałowa / M. Blicharski. – Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2012.
- 35 Mayer P. Właściwości i zastosowania włókien węglowych i szklanych / P. Mayer, J. Kaczmar // Tworzywa Sztuczne i Chemia / P. Mayer, J. Kaczmar. – Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2008. – С. 52–56.

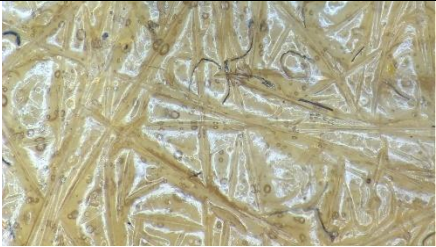
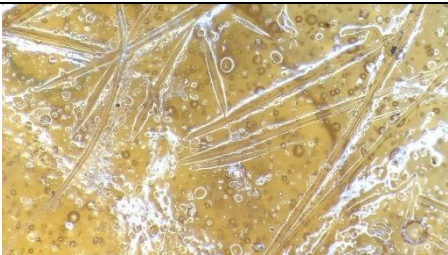
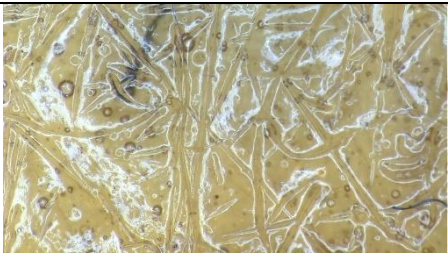
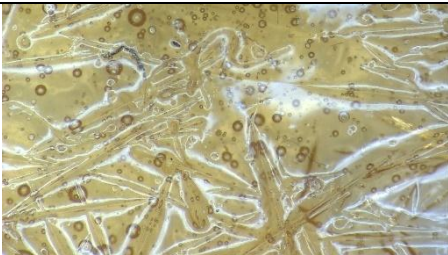
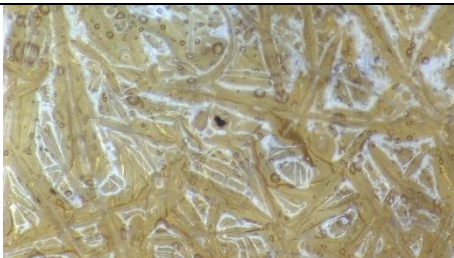
Додаток А – Порівняння макроструктур - збільшення

×2,5.		Стан після першої термічної обробки (200°C)	Стан після другої термічної обробки (300°C)
	Вихідний стан		
1			
2			
3			
4			

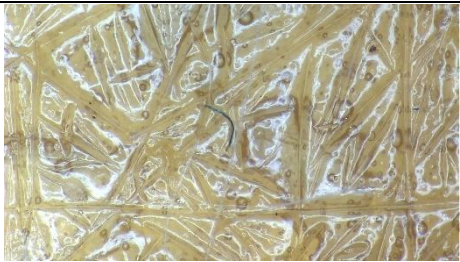
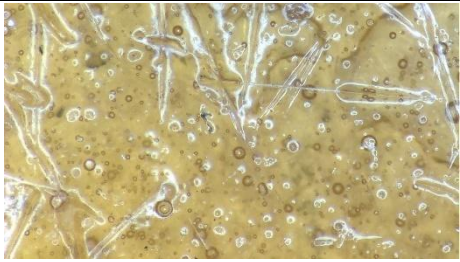
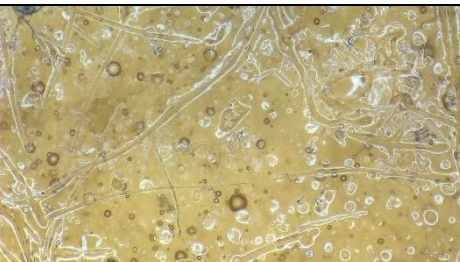
Продовження Додатку А

5			
6			
7			
8			
9			
10			

Додаток Б Порівняння макроструктур - збільшення

	^{×6} . Стан після першої термічної обробки (200°C)	Стан після другої термічної обробки (300°C)
1		
2		
3		
4		
5		

Продовження Додатку Б

6		
7		
8		
9		
10	